

# Pengaruh RPM Terhadap Kualitas Sambungan dan Metalurgi Las pada *Joint Line* untuk Aluminium Seri 5083 dengan Proses *Friction Stir Welding*

Fery Nurdiansyah, Ir. Soeweify, M.Eng, Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Phd  
Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: weify@na.its.ac.id

**Abstrak**—Proses penyambungan Aluminium dengan GTAW dan GMAW mempunyai kekurangan yaitu menyebabkan rusaknya lapisan tahan korosi pada permukaan Aluminium, untuk mengatasi kekurangan tersebut dilakukan pengelasan yang suhu pengelasannya berada di bawah titik leleh Aluminium yaitu *Friction Stir Welding*. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan dengan mesin frais tipe PM 1 1/2 HU sebagai pengganti mesin *Friction Stir Welding* pada aluminium paduan 5083 dengan tebal 4 mm dengan ukuran 20 mm x 10 mm menggunakan empat variasi RPM sebesar (394,536,755,1084) dengan *travel speed* sebesar 0.33 mm/detik serta sudut inklinasi 3°. Kemudian dilakukan analisa terhadap perubahan metalurgi, *defect* yang terjadi dan besarnya *heat input* yang diwakilkan dengan temperatur pada permukaan *weld joint*. Dari hasil percobaan diketahui bahwa semakin besar RPM maka semakin besar suhu pengelasan menyebabkan bentuk butir semakin besar, *surface irregularitis* semakin pendek, kekerasan material menjadi lebih rendah serta *diskontinuitas* berupa *weld flash* semakin besar. Variasi RPM yang paling optimum adalah RPM dengan kecepatan putar 755 karena pada variasi RPM ini tidak terdapat *defect* pada *weld joint* serta memiliki panjang *surface irregularitis* cukup pendek.

**Kata Kunci**—aluminium titanat ( $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ ),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , reaksi pada densitas, larutan padar.

## I. PENDAHULUAN

*Friction stir welding* ditemukan oleh the welding institute (UK) pada tahun 1991 sebagai teknik penyambungan secara *solid-state* dan pada pertama kalinya diaplikasikan pada paduan aluminium [1]. Konsep dasar dari proses ini sangat sederhana, dimana *non-consumable rotating tool* dengan desain tertentu digunakan untuk menyambung dua material. *Friction stir welding* adalah proses *solid state*, dimana sebuah tool berbentuk silindris yang memiliki *shoulder* beserta pin yang disisipkan diantara sambungan dua material yang akan disambung.

Proses penyambungan terjadi dengan pelunakan *base metal* akibat input panas yang dihasilkan dari gesekan antara pin beserta *shoulder* dengan *base metal*. Panas ini bersama panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan panas adiabatik dalam material, menyebabkan material adukan untuk melunak tanpa mencapai titik lelehnya [2]. Dengan kombinasi antara gerak rotasi dan gerak translasi *tool* menyebabkan material yang lunak tersebut berpindah dari sisi depan pin menuju sisi belakang pin sembari menerima tekanan

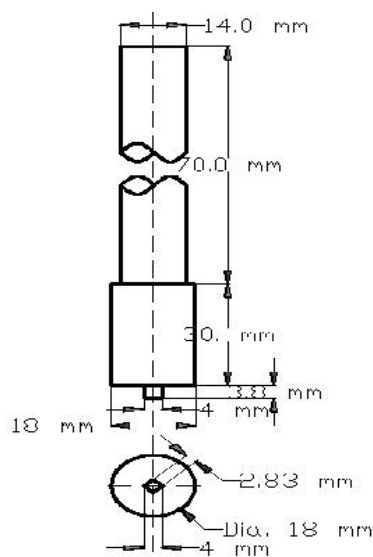
tempa dari pin dan *shoulder*, sehingga terbentuklah sambungan las (*weld joint*) [3].

Kecepatan putaran *tool* merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas sambungan yang dihasilkan, karena parameter kecepatan putaran berpengaruh terhadap input panas yang dihasilkan [4]. Kecepatan putaran yang tinggi (>10.000 RPM) dapat meningkatkan *strain rate* dan berpengaruh pada proses rekristalisasi [5]. Semakin cepat putaran RPM menyebabkan deformasi yang terjadi pada saat proses pengelasan semakin besar sehingga membuat bentuk butiran menjadi lebih kecil namun RPM yang tinggi juga menyebabkan *heat input* yang diterima juga semakin besar sehingga menyebabkan butiran berkembang menjadi lebih besar [6]. Dengan bentuk butiran yang kecil maka menyebabkan tingkat kekerasan material lebih tinggi karena kerapatan butiran lebih banyak dan material bersifat *brittle* sedangkan bentuk butiran yang lebih besar akan menyebabkan tingkat kekerasan material lebih rendah karena kerapatan butiran lebih sedikit dan material bersifat *ductile* [6]. Demikian dengan *yield strength* dipengaruhi oleh *heat input* yang diterima pada saat proses pengelasan yang selanjutnya mempengaruhi ukuran butir, semakin kecil ukuran butir maka akan semakin besar *yield strength* yang dihasilkan karena semakin kecil butir maka akan semakin besar tenaga yang digunakan untuk menarik material tersebut [6]. Namun sebaliknya jika ukuran butiran semakin besar maka akan semakin kecil tenaga yang dibutuhkan untuk menarik material tersebut sehingga menyebabkan *yield strength* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Pada penelitian ini menggunakan modifikasi *tool* dengan bahan baja spesial K-100 yang terbentuk *straight square* ini akan digunakan pada mesin frais (*milling machine*) sebagai sumber tenaga penggerak. Parameter tetap yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah tekanan *tool* yang digantikan dengan adanya *depth plunge*, diameter *shoulder tool* dan sudut inklinasi. Dari parameter-parameter tersebut kemudian akan diamati kualitas sambungan las dan perubahan sifat metalurgi sepanjang *joint line* akibat pengaruh dari variasi RPM (394, 536, 755, 1084) serta diuji pula tingkat kekerasan dengan metode *vickers* akibat perubahan metalurgi di sepanjang *joint line* akibat pengaruh dari variasi RPM.

## II. METODE

Aluminium paduan seri 5083 dikenal memiliki performa yang baik di kondisi lingkungan yang ekstrim karena sifatnya yang tahan terhadap pengaruh air laut dan zat-zat kimiawi dari industri, oleh karena itu, Aluminium seri 5083 banyak digunakan untuk *marine applications* [7]. Ketahanan korosi paduan Aluminium bergantung pada film oksida pelindung permukaan, yang ketika rusak mudah diperbaiki oleh reaksi yang cepat antara Aluminium dan Oksigen, hal lain yang perlu diketahui iadalah ketahanan korosi pada Aluminium 5083 sangat baik pada kondisi asam sekitar PH 4 – 9. Selain itu paduan tempa ini menawarkan kekuatant ertinggi diantara paduan *non-heat treatable* lain karena rata-rata mengandung 4.5% Mg, 0.7% Mn, dan 0.13% Cr. Aluminium paduan seri 5083 yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah material pelat Aluminium Alloy seri 5083 dengan ketebalan 4 mm dengan ukuran dimensi 200mm x 100mm. Tool yang akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini terbuat dari spesial K-100 yang dimodifikasi untuk dapat digunakan pada mesin frais tipe PM 1 1/2 HU sebagai pengganti mesin *Friction Stir Welding* sehingga dapat menyambung Aluminium yang akan diakukan penyambungan dengan FSW lihat pada gambar 2. Tool terdiri dari 2 bagian, yaitu *shoulder* dan *pin* berbentuk *straight square* dengan ukuran seperti gambar1. Parameter tetap yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah tekanan tool yang digantikan dengan adanya *depth plunge*, diameter *shoulder tool* (18mm) dan sudut inklinasi 3°. Dari parameter-parameter tersebut kemudian akan diamati kualitas sambungan las dan perubahan sifat metalurgi sepanjang *joint line* akibat pengaruh dari variasi RPM (394, 536, 755, 1084) dengan uji makro etsa, mikro etsa dan radiografi serta diuji pula tingkat kekerasan dengan metode *Vickers* akibat perubahan metalurgi di sepanjang *joint line* akibat pengaruh dari variasi RPM. Sehingga akan ditemukan parameter-parameter yang tepat untuk proses *pre fabrication panel* bangunan atas kapal aluminium dengan menggunakan proses pengelasan *friction stir weldin* gterutama RPM.



Gambar 1. Sketsa Tools yang akan digunakan

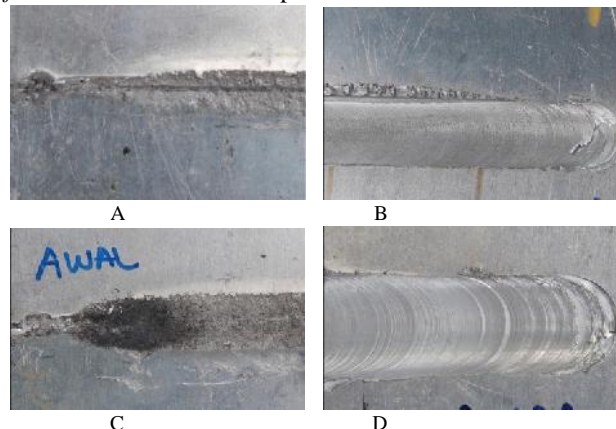


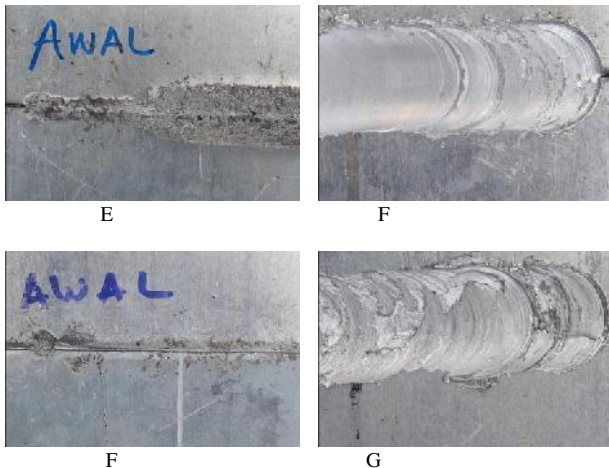
Gambar 2. Proses Pengelasan FSW

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pemeriksaan Visual

Setelah proses FSW telah selesai dilakukan sesuai dengan prosedur pada maka tahap selanjutnya adalah pemeriksaan hasil pengelasan terhadap variasi RPM yang telah dilakukan yaitu (1084,755,536,394). Pada pemeriksaan ini Pada bagian face pada semua variasi RPM (1084,755,536,394) terdapat cacat berupa *welding flash* karena suhu pengelasan yang tinggi. Selain itu terdapat cacat berupa surface irregularitis hal ini dikarenakan adanya beberapa material permukaan yang ikut teraduk pada saat awal pengelasan serta suhu pengelasan yang masih lebih rendah yang dipengaruhi oleh *dwel time*. Panjang surface irregularitis pada semuavariasi RPM (1084, 755, 536, 394) yaitu sepanjang (1.36, 2.89, 3.27, 8.56) cm. Pada variasi RPM (1084, 755, 536) bagian *Root* tertutup secara penuh menyatu dengan base metal hal ini menunjukkan bahwa antara *root* dan *face* sudah fusi secara sempurna karena adanya *tilt angel* lihat pada gambar 3. Suhu pengelasan yang mencapai suhu 233 °C pada variasi 1084, 206 °C pada variasi 755, 191 °C pada variasi 536 dimana dalam suhu ini memungkinkan antara *root* dan *face* sudah fusi secara sempurna serta penetrasi yang sempurna dari tools. Pada variasi 394 Pada bagian *Root* tidak tertutup secara penuh dan tidak menyatu dengan base metal hal ini menunjukkan bahwa antara *root* dan *face* belum fusi secara sempurna hal ini dikarena suhu pengelasan yang hanya mencapai suhu 185 °C dimana dalam suhu ini belum memungkinkan antara *root* dan *face* untuk fusi secara sempurna.

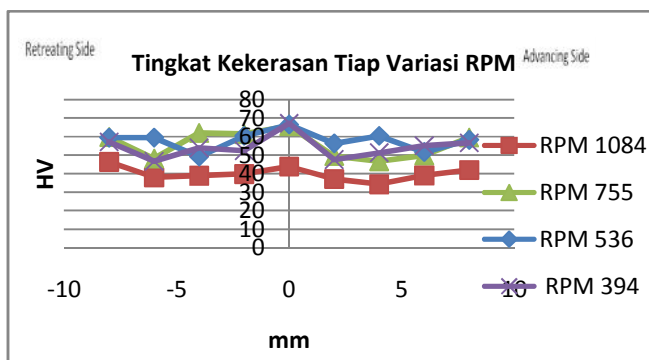




Gambar 3. Face dan root variasi 1084 (A,B), Face dan root variasi 755 (C,D), Face dan root variasi 536 (E,F), Face dan root variasi 394 (G,H).

#### B. Pengujian Mikrohardness (Vickers)

Dari keempat variasi RPM diketahui bahwa semakin besar RPM maka tingkat kekerasannya semakin kecil hal ini dapat dilihat berdasarkan tingkat kekerasan pada bagian *weld metal* pada tiap-tiap variasi adalah pada variasi 1084 tingkat kekerasan *weld metal*nya 43.9 skala vickers, pada variasi 755 tingkat kekerasan *weld metal* 65.8 skala vickers, pada variasi 536 tingkat kekerasan *weld metal* 66.5 skala vickers, pada variasi 394 tingkat kekerasan *weld metal* 67.2 skala Vickers lihat pada gambar 4. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin besar *heat input* maka akan menyebabkan butir semakin berkembang sehingga menyebabkan ukuran butir semakin besar, semakin besar ukuran butir maka jumlah butir perluasan akan semakin berkurang sehingga menyebabkan tingkat kekerasannya menurun.

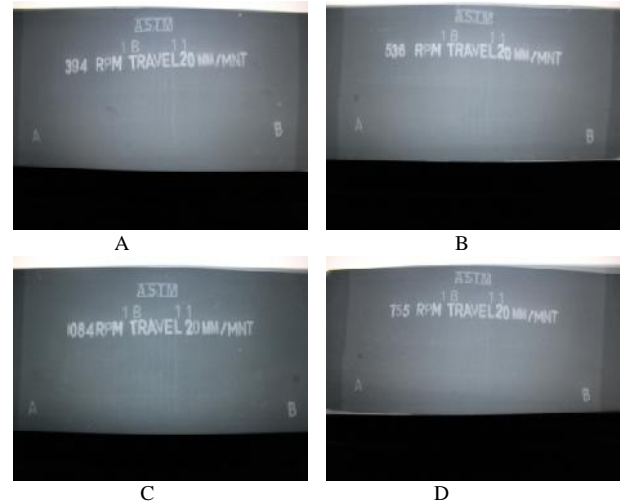


Gambar 4. Tingkat kekerasan pada semua variasi RPM pada *retreating* dan *advancing side*.

#### C. Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi adalah salah satu pengujian tidak merusak yang menggunakan sinar elektromagnetik untuk mendeteksi adanya cacat-cacat pengelasan pada *sub-surface* maupun cacat internal seperti *voids*, *incomplete penetration* dan *tunnel defect*. Pada variasi RPM (1084, 755, 536) pada pengujian radiografi tidak terdapat indikasi cacat atau *free*

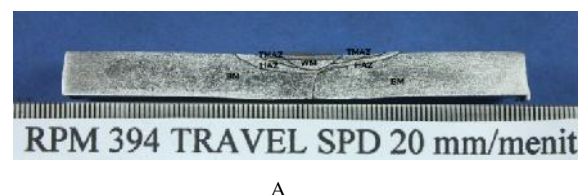
*defect* lihat pada gambar 5. Hal ini berdasarkan *acceptance criteria* ASME sect V article 2 *radiographic examination*. Pada variasi RPM 394 pengujian radiografi terdapat indikasi cacat berupa IP (*incomplete penetration*) hal ini berdasarkan *acceptance criteria* ASME sect V article 2 *radiographic examination*[8].



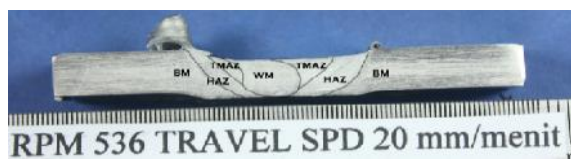
Gambar 5. Hasil uji radiografi variasi RPM 394 (A), Hasil uji radiografi variasi RPM 536 (B), Hasil uji radiografi variasi RPM 755 (C), Hasil uji radiografi variasi RPM 1084 (D).

#### D. Pengujian Makro Etsa

Pemeriksaan makro adalah pemeriksaan specimen dengan mata telanjang atau menggunakan alat bantu kaca pembesar yang memiliki pembesaran rendah (*low magnification*). Tujuan dilakukannya pengujian foto makro adalah untuk mengetahui besarnya *weld zone*, serta *diskontinuitas* pada potongan melintang specimen. Dari makroetsa ini *diskontinuitas* yang dapat diketahui adalah *incomplete penetration* hal ini dikarenakan kurangnya penekanan serta suhu pengelasan yang rendah serta suhu pengelasan yang terlalu tinggi. Pada pemeriksaan makro etsa pada variasi RPM 1084 terdapat *diskontinuitas* berupa IP (*incomplete penetration*) sepanjang 0.58 mm hal ini dikarenakan panas yang terlalu tinggi pada variasi tersebut sehingga menyebabkan material menjadi lebih mudah retak karena *heat input* yang terlalu tinggi. Sedangkan pada variasi RPM 394 terdapat *diskontinuitas* berupa IP (*incomplete penetration*) sepanjang 3.87 mm yang disebabkan oleh kurangnya penekanan serta suhu pengelasan yang rendah. Sedangkan pada variasi RPM 755 dan RPM 536 *free defect* hal ini disebabkan karena suhu pengelasan yang optimum sehingga material yang melunak dapat menyatu antara bagian *root* dan *face* tanpa mengalami adanya *diskontinuitas* berupa IP (*incomplete penetration*) lihat pada gambar 6.



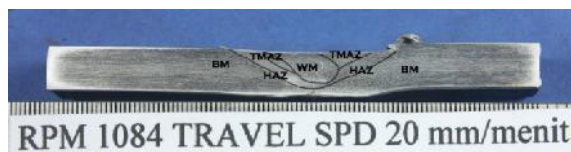




B



C

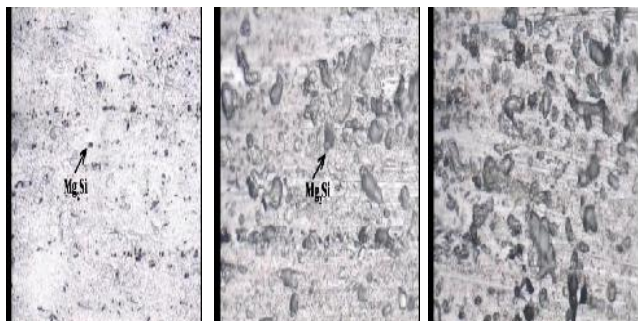


D

Gambar 6. Hasil uji makro etsa variasi RPM 394 (A), Hasil uji makro etsa variasi RPM 536 (B), Hasil makro etsa variasi RPM 755 (C), Hasil uji makro etsa variasi RPM 1084 (D).

#### E. Pengujian Mikro Etsa

Pemeriksaan mikroa adalah pemeriksaan struktur Kristal logam dengan menggunakan mikroskop. Karena struktur Kristal logam sangat kecil maka angka pembesaran yang diperlukan antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih. Pengamatan hasil pengelasan dengan menggunakan foto mikro meliputi HAZ, TMAZ dan *weld nugget*.



Gambar 7. Kontur Daerah Base Metal, HAZ dan Weld Metal akibat pengaruh RPM.

Penyusun Aluminium seri 5083 adalah  $Mg_2Si$  yaitu ditunjukkan partikel berwarna gelap dengan ukuran kecil sementara partikel  $MnAl_6$  yaitu ditunjukkan partikel berwarna gelap dengan ukuran lebih besar lihat gambar 7. Bentuk butir yang tampak pada daerah *base metal* yaitu berbentuk pipih dan panjang. Pada daerah HAZ butir-butir mengalami perubahan bentuk dari yang semula berbentuk pipih dan panjang pada daerah *base metal*, menjadi bentuk oval dan hampir bulat. Bentuk butir pada daerah *weld metal* lebih besar daripada ukuran butir pada daerah HAZ dan *base metal* hal ini dikarenakan pada daerah *weld metal* menerima heat input yang lebih besar daripada pada daerah HAZ dan *base metal* lihat pada gambar 7.

### III. KESIMPULAN

Dari serangkain percobaan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi RPM yang paling optimum adalah RPM dengan kecepatan putar 755 karena pada variasi RPM ini tidak terdapat cacat pada *weld joint* serta memiliki panjang *surface irregularitis* cukup pendek.
2. Semakin besar RPM heat Input yang diterima semakin besar sehingga menyebabkan ukuran butir semakin besar namun dengan ukuran butir yang besar menyebabkan tingkat kekerasan menurun.
3. Cacat pengelasan yang terjadi pada beberapa variasi RPM adalah IP (*incomplete penetration*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih para dosen pembimbing yang telah memberikan waktu dan pemikirannya dalam membantu menyelesaikan penelitian ini, yaitu bapak Ir. Soeweify, M.Eng dan bapak Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D. Tidak lupa ucapan terimakasih pada kedua orang tua yang memberikan support dalam pengerjaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pumchan, W., *The Influences of the Friction Stir Welding on the Microstructure and Hardness of Aluminium 6063 and 7075*. Singapore: International Conference on Advanced Materials Engineering, (2011).
- [2] Kumbhar, N.T., *Friction stir welding of Aluminium alloy*. School of Engineering, AUT University, Auckland, New Zealand, (2008).
- [3] Mishra, R dan Z.Y. Ma. Friction Stir Welding and Processing. Materials Science and Engineering R 50 (2005) 1-78.
- [4] Mishra, R dan Murray, M., *Friction Stir Welding And Processing*. ASM international, Ohio. United States of America, (2007).
- [5] Schneider, J.A., *Temperatur Distribution and Metal Flow*. United States of America, (1996).
- [6] Rajakumar, S., Muralidharan, C., and Balasub., V., *Influence of Friction Stir Welding Process and Tool Parameters on Strenght Properties Aluminium Alloy Joints*. Annamalai University, India, (2010).
- [7] Van Haver, W., *Friction Stir Welding*. BWI, Belgia, (2007).
- [8] ASME, Sect V *article 2 radiographic examination*, United States of America, (2004).